

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-251250

(43)Date of publication of application : 14.09.2001

(51)Int.Cl.

H04B 10/152

H04B 10/142

H04B 10/04

H04B 10/06

H04J 14/00

H04J 14/02

H04B 10/02

H04B 10/18

(21)Application number : 2000-061068

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 06.03.2000

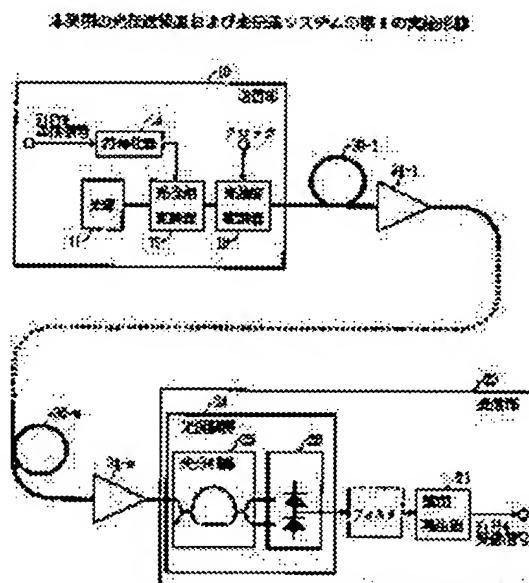
(72)Inventor : FUKUTOKU KOUSHI
MIYANO TOMOKO

(54) OPTICAL TRANSMITTER AND OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To configure an economical network by relaxing the limit of the number of optical amplifiers and repeaters due to a nonlinear optical effect and deterioration in optical SNR.

SOLUTION: The optical transmitter for configuring a transmission section is provided with a light source, that generates a light with a single wavelength, a phase modulation means that applies phase modulation to a light with a single wavelength by a digital signal, and an intensity modulation means that applies intensity modulation, so that the optical intensity is small at borders of bits of the optical signal that is phase-modulated, and transmits an optical signal, that is phase-modulated and intensity-modulated.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

27.11.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3625726

[Date of registration]

10.12.2004

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

【0007】図9のように、光増幅器31のみにより多段階に光増幅の増強を構成して、ASE光が光増幅器31の出力端に到達するまで、光増幅率とASE光の波長とを逐次変換して受信機に到達させる。このため、光増幅率とASE光の波長の比であるSNRは、送信端に到達して受信機で大きく変化する。また、光SNRが小さくなると、受信機で符号誤り率が増加する。この符号誤り率を一定値以下に維持して信号品質を維持するには、光ファイバ伝送路への入力電力パワーを昇らせ、送信端での光SNRを大きくする必要がある。

【0008】しかし、光ファイバ伝送路への入力光パワーを向上させると、光ファイバ伝送路の非線形光学効果による中波長帯の高パワーの光伝播するとき、光と光ファイバの相互作用を強化し、光ファイバの屈折率が非線形変化する相対作用を起し、光伝播システムで問題となる現象を起す現象である。光伝送システムで問題となる現象として、自己相互作用と極速度分散の相互作用 (SPM+GVD)、相互位相変調と極速度分散の相互作用 (XPM+GVD)、四光混成、誘導ラマン散乱等がある。

【0009】IM-DD方式を用いた光伝送システムに、1波長のみを伝送させた場合には、SPM+GVD効果が顕著になることが報告されている(参考文献:A.Naka et al., "Fiber transmission distance determined by eye opening degradation due to self-phase modulation and group-velocity dispersion", IEEE Photonics Technology Letters, vol.23, pp.2721-2722, 1991) 2). また、図のようないくつかの波長伝送システムにおいては、光伝送路の分散伝達率近郊以外の波長を用いた場合には、XPM+GVD効果が顕著になることが報告されている(参考文献:R.Hui et al., "Cross-phase modulation in multipass WDM optical fiber systems", IEEE Journal of Lightwave Technology, vol.17, pp.1018-1026, 1999).

【0010】(DPSK-DD方式)次に、IM-DD方式に比べて光SNR劣化の影響を低減できるDPSK-DD方式について説明する。DPSK-DD方式は、送信信号を光の位相の變化に対応させて伝送し、受信部で前送のビットを干渉させ、位相變化を強度信号に変換して復調する方式である。

【0011】図10は、DPSK-DM方式を用いた伝送路伝送多量光伝送システムの構成例を示す。図において、送信側10では、複数の送信信号をそれぞれ符号化する第1～14-nに入力し、送信信号“0”を“0”と“1”または“10”と“1”と“11”と符号化する第1～14-nの連続光を光伝送変調器15～15-nに入力し、符号化後14-nの出力信号により、それぞれ位相変調された送信信号を生成する。このとき、光信号の位相は位相変調された送信信号14-nの出力信号に相対し、0とπの2値の位相変調信号となる。各送信信号に対して、

最の光信号は、光合波器13で波長多重され、光ファイバ伝送路30-1~30-mおよびその損失を補償する光増幅器31-1~31-mを介して受信部20まで伝送される。

【0012】受信部20では、光分波器21で受信光の光信号を、それぞれ対応する光検波器24～1～24～nに入力される。光検波器24は、光検波器25とペアを形成され、光検波器26から構成される。光検波器25は2入力型出力光のマッチング干渉計により構成し、一方の入力ポートから入力した光信号を2分岐し、その一方に1ビット時間遅延させた後に合波して2つの出力ポートに出力する。一方の出力ポートには、光の位相に強化が施される、干渉によって分岐された光信号が強化され、干渉によって分岐の大きい光信号を出力し、光の位相に強化が施され、干渉によって分岐された光信号が打ち消し合

【0013】送信部100では、予め送信信号が光信号の位相変化に対応付けられているので、送信信号と等しい光強度信号が光分割器25の一方の出力ポートから出力される。光分割器25の他方の出力ポートには、処理反転した光強度信号が出力される。これらをバランス型受光器26で受光することにより、送信信号に匹敵する信号を復調することができる。各電圧信号は、位相再生回路27から1～23-nにそれぞれ出力再生され、受信信号として出力される。

【0014】ここで、光変調器25の2つの出力ポート1には、干渉性のない光増幅用のASE光成分は均等として出力される。干渉性のない光増幅用のASE光成分は均等として出力される。このため、バラン型受光器26の出力成分は、干渉性のない光増幅用のASE光成分と相補的な出力成分となる。したがって、IM-DD方式で光信号の光のピークパワーを増し、DPSK-DD方式の光のSNRは2倍になり、ASE乗増による光のSNR劣化の影響を低減することができる。しかし、非相対性光効果（非線形効果）を用いた場合でも劣化が生じることが報告されている（参考文献：S. Morizane et al., "The influence of cross-phase modulation on optical FDM PSK homodyne transmission systems", IEEE Journal of Lightwave Technology, vol. 11, pp. 795-804, 1993.）。

【0015】以上説明したように、IM-DD方式を用いた光伝送システムでは、光増幅器の多段化に起因するASE光ノイズによる光S/N劣化と、光ファイバ伝送路における光線形光学効果の影響により、光増幅中継器が制限されている。また、DP SK-DD方式を用いた光伝送システムでは、光S/N劣化に対する制限は緩和されている。また、非線形光学効果の影響については、光増幅中継器の制限要因になっている。

【0016】
【発明が解決しようとする課題】従来の光伝送システム

(3)

において問題となる非線形光学効果のうち、1波長伝送で問題となるSPM+GVD効果、波長多重伝送で問題となるSPM+GVD効果およびXPM+GVD効果について、詳細に説明する。

【0017】(SPM+GVD効果)まず、従来の光伝送システムにおいて、IM-DD方式におけるSPM+GVD効果の影響について説明する。

[illegible]

【0016】図11は、IM-DD方式で生じる目出し相変調による光周波数変化を示す。(a)はNRZ (Non-

Return to Zero) 符号を用いた強度変調信号の波形変化を示す。図 1 (a) に示すような強度変調波が光ファイバ伝送路を伝搬すると、光ファイバの非線形屈折率率を介して自光信号に光強度に比例した光位相変化が生じる。この光位相変化を自己位相変調 (SPM) という。図 1 (b) の時間軸からは光周波数変調に対応するたが、この位相変化の時間微分が光周波数変調に比例する。このように、NRZ 符号を用いた IM-DD 方式では、符号変化するときに周波数変調が生じる。この周波数変調の周波数成分のうち光周波数変調により、この光周波数変調の周波数成分のうち光周波数変調により、光強度変化に与える効果は SPM+GYD 効果という。

【0019】図12は、NRZ符号を用いた1M-DD方式の波長伝送時の信号波形を示す。ここでは、波長分散値 2.5ps/nm/km の光伝送路を 120km に光伝送路中継し、 360km は伝送後の信号の波形変化を示す。(a)は、伝送前の波長の分散特性を示す。なお、群速度分散の値のみが数値を添くため、伝送後に分散補償ファイバにより光伝送路の群速度分散を補償した。

【0020】図12(b)中の2つの矢印は、ともに送信データの「1」を表しているが、前後のビットの符号に依らずに示し、波型が大きく異なっている。図11に示すように、自己位相調整の光周波数変動は、符号が変化するビットの境界のみで生じるが、この光周波数変動はその後続のビットに対して影響を与え、符号間干渉を生じさせる。この符号間干渉により、前後のビットの波型に歪みが生じた波型のばらつきが生じ、信号誤りが生じることになる。

【0021】次に、DPSK+DD方式におけるSPM+GDV効果の影響について説明する。図13は、位相変調信号の光強度とその光周波数変化の関係を示す。

(a) は位相変調値信号の波形、(b) は誘起される自己位相変調によって生じている周波数変化を示す。図 1 3(a) に示すように、位相変調値信号は送信値信号を光の相対位相に変換させるため、符号変調を一定にできるが、光位相は変化する。特に、符号変調し、光の相対位相が“0”から“ π ”、“ π ”から“0”に変化するビットの境界で位相変化が生じる。

【0022】上述のように、光位相変化の時間微分が光周波数変動になるので、光位相が変化するときのビッ

(4)

に示すような光周波数変動が生じ、光周波数変動は、群速度分散がある光ファイバを伝送する光周波数変動に変換されるため、位相変調信号値と送信する光周波数変動とが同時に送信値に放散する強度変調化を生じることになる。この送信値に放散した強度変調化により、上述のIM-DD方式と同様に、位相変調化による送信値と強度変調化による送信値との符号間干渉効果は、波形劣化を招く。

[illegible]

【0024】なお、SPM-GVD効果による符号間干渉を低減させるために、IM-DD方式においてRZ (Return to Zero) 符号を用いることが検討されてい

【0026】光強度により送信信号を伝送するIM-D
D方式では、送信信号に知れた光強度変化が光ファイ
バーの非線形屈折率を介して隣接波長の位相を変化させ
る。この位相変化により生じる光周波数変化が、群速度
分散により強度揺らぎとして現れる効果をXPM+GV
D効果として強調する。

【0027】図15は、NRZ符号を用いた1M-DDT方式で波長多重伝送を行った場合の相互位相図に示して生じる光周波数変調を示す。図15(a)、(b)は、波長 $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ の光周波数変調の波形を示す。図15(a)、(b)間の光位相は、光周波数の変化によって位相変調が生じる点を示し、例えば下方向の矢印は波長 $\lambda 1$ の光位相が波長 $\lambda 2$ の光位相に光周波数変調を生じさせていることを意味する。図15(c)は、波長 $\lambda 1$ の光位相が波長 $\lambda 2$ の光位相によって位相変調を受けることを意味する。

【0028】図15(a)、(b)に示すように、隣接チャネル間の強度比は送信信号の相関値に比例する。このため、図15(a)に示すように、隣接チャネルの影響により生じた光周波数変化は、自己光周波数変化には無関係なランダムな変化となっており、ランダムな強度変化は、光ファイバ中の経路分散によりランダムな強度変化に置換される。

【0029】次に、上述したXPM+GVD効果による

ランダムな波形劣化の変位後の周波数分布について説明する。図16は、NRZ符号を用いたIM-DD方式で生じるXPM+GVD効果の周波数分布を示す。ここで中心波長を連続光とし、他を10Gbit/sのビットレートでNRZ符号を用いて強度変調した3波長の波長多重光信号について、伝送時の中心波長の光信号を直接検出した場合の電気スベクトルを示す。

[0030] この電気スベクトルは連続光を受光した際の周波数成分は存在しない。しかし、図16に示すように、本来スベクトルが存在しない連続光にブロードなベクトルが生じている。このスベクトルは、隣接波長のXPM+GVD効果によるランダムな強度変化によって生じたものである。XPM+GVD効果により生じたスベクトルは、図に示すように信号周波数帯域と重なっており、取り除くことは不可能である。このため、受信部においてランダムな信号劣化が生じることになる。

[0031] 以上、NRZ符号を用いたIM-DD方式におけるXPM+GVD効果の影響について説明したが、DPSK-DD方式についてもSPM+GVD効果と同様に信号劣化を生じる。また、RZ符号を用いたM-DD方式についても、強度変化は送信信号に依存し、隣接波長にXPM+GVD効果によるランダムな信号劣化を与える。

[0032] 図17は、100 GHz間隔の3波長多重伝送実験により得られたアイパターンを示す。信号のビットレートは10Gbit/sとした。また、実験に用いた光伝送路は波長分散値2.5ps/nm/kmであり、120kmごとに光増幅中継し、360 km伝送した。なお、群速度分散の影響を除くため、伝送後に分散補償ファイバにより光伝送路の群速度分散を補償した。

[0033] 図17(a)、(b)、(c)は、それぞれNRZ符号を用いたIM-DD方式、RZ符号を用いたIM-DD方式、DPSK-DD方式のアイパターンを示す。なお、比較のために、伝送前のアイパターンもそれぞれ同時に示す。図に示すように、3波長多重伝送後のアイパターンは、伝送前と比較して波形がランダムに劣化し、“0”と“1”のレベル差が小さくなって傾りが生じやすくなっていることがわかる。このように、波長多重伝送を行った場合は、SPM+GVD効果に加え、XPM+GVD効果によりランダムな波形劣化を受けて信号が劣化する。

[0034] なお、ここでは波長多重伝送を行った場合の非線形光学効果の例として、XPM+GVD効果による劣化について説明した。光強度変化しなわち光パワーの変化が他の波長に影響を与える現象については、上記のXPM+GVD効果と同様の劣化を生じさせる。

[0035] このように、光伝送システムでは、非線形光学効果と光SNR劣化の影響により信号が劣化する。特に、SPM+GVD効果およびXPM+GVD効果

による影響は、従来の技術を用いる光伝送システムにおいて光増幅中継数の大きな制約要因となっている。

[0036] 本発明は、SPM+GVD効果やXPM+GVD効果等の非線形光学効果、および光SNR劣化による光増幅中継数の制約を緩和し、光伝送路における再生中継器を最小限に抑えて経済的なネットワークを構築することができるとする光伝送装置および光伝送システムを提供することを目的とする。

[0037] [図題]を解決するための手段 [請求項1]に記載の光伝送装置は、単一波長の光を生ずる光源と、デジタル信号により単一波長の光を位相変調する位相変調手段と、位相変調された光信号の各ビットの境界で光強度が小さくなるように強度変調する強度変調手段とを備え、位相変調および強度変調された光信号を送信する。

[0038] 請求項2に記載の光伝送装置は、異なる波長の光を生ずる複数の光源と、複数のデジタル信号により各波長の光をそれぞれ位相変調する複数の位相変調手段と、位相変調された各波長の光信号の各ビットの境界で光強度が小さくなるようにそれぞれ強度変調する複数の強度変調手段と、位相変調および強度変調された各波長の光信号を合成する光合成器とを備え、光合成器から出力される波長多重光信号を送信する。

[0039] このように、デジタル送信信号により位相変調されたビットの境界で、光強度が小さくなるように信号のビットに同期したタイミングで強度変調を行うので、送信波形の強度変化はすべてのビットにおいて一様になり、ビットの境界で光強度が小さくなる。これにより、SPM+GVD効果により生じる符号間干渉を抑え、信号劣化を低減することができ、

[0040] 請求項3に記載の光伝送装置は、デジタル信号により位相変調された光信号を復調して電気信号に変換する光復調手段と、電気信号を位相再生してデジタル信号を出力する位相再生手段とを備え、請求項1に記載の光伝送装置から送信された光信号を光復調手段に変換する。

[0041] 請求項4に記載の光伝送装置は、複数のデジタル信号により各波長の光信号がそれぞれ位相変調された波長多重光信号を各波長の光信号に分離する光分離器と、各波長の光信号を復調してそれぞれ電気信号に変換する複数の光復調手段と、各電気信号を位相再生してそれぞれ対応するデジタル信号を出力する複数の位相再生手段とを備え、請求項2に記載の光伝送装置から送信された波長多重光信号を光分離器に変換して分離する。

[0042] また、光復調手段で復調された電気信号のクロック周波数以上の周波数成分を減衰させる手段を備えてもよい（請求項5）。本発明の光伝送装置から送信された光信号は、送信信号のクロック周波数と一致した成分により強度変調された波形となる。したがって、X

タル受信信号として出力される。

[0049] このように本発明の特徴は、送信部10を構成する光伝送装置にあり、送信する位相変調信号に対して光強度変調器16を用いてビットの境界で光強度が小さくなるように強度変調することにある。受信部20を構成する光伝送装置は従来のものに対応することができ、

[0050] 本実施形態は、1波長の光信号を伝送するものであるが、このときに影響を与える非線形光学効果はSPM+GVD効果である。上述したように、NRZ符号を用いるIM-DD方式、DPSK-DD方式では、SPM+GVD効果により生じる符号間干渉によって信号が劣化する。本実施形態では、デジタル送信信号により位相変調されたビットの境界で、光強度が小さくなるように信号のビットに同期したタイミングで強度変調を行う。このため、送信波形の強度変化はすべてのビットにおいて一様になり、ビットの境界で光強度が小さくなる。ビットの境界の光強度を小さくすれば、SPM+GVD効果により生じる符号間干渉を抑圧でき、信号劣化を低減することができる。

[0051] なお、本実施形態では、送信部10から位相変調信号を送信し、受信部20で光弁別器25およびバラン型受光器26を用いた復調処理を行う構成であるので、従来のDPSK-DD方式と同様に受信感度が低め、光増幅器31のASE光の影響を小さくすることができ、RZ符号を用いたIM-DD方式でも、SPM+GVD効果により生じる符号間干渉を抑圧でき、本発明の構成ではASE光の影響を合わせて低減できるところに特徴がある。

[0052] 図2は、第1の実施形態における1波長伝送時の信号波形を示す。ここでは、ビットレート10Gbit/sの信号を波長分散値2.5ps/nm/kmの光伝送路で120kmごとに光増幅中継し、360 km伝送した場合の波形変化を示す。(a)は伝送前、(b)は伝送後の光復調器の出力波形を示す。なお、群速度分散の影響を除くため、伝送後に分散補償ファイバにより光伝送路の群速度分散を補償した。

[0053] 従来のIM-DD方式でDPSK-DD方式では、図17に示すように、SPM+GVD効果による符号間干渉により、前後のビットの依存性によって信号劣化が生じているのに対して、本実施形態では符号間干渉を抑圧できるので波形劣化が小さいことが分かる。

[0054] 図3は、第1の実施形態における伝送後の符号誤り率特性を示す。なお、実験条件は図2の実験と同様である。本実験では、光伝送路の損失を30dBに固定し、光伝送路への入力カバレッジを変化させた場合の符号誤り率を示す。図中の●印は、入力カバレッジが小さい場合の符号誤り率であるが、後述する3波長伝送時の符号誤り率を転用した。これは、入力カバレッジが小さい場

合には、非線形光学効果の影響はなく、1波長伝送時の符号誤り率が高くなることがわかる。これは、波長間の相互作用によるXPM+GVD効果により生じる波形状化が原因であるが、その中でも図8 (d) に示す本実施形態のものの方が符号誤り率の劣化が最も顕著に抑えられていることが分かる。

【0055】 光伝送路への光入力パワーを減少させること、符号誤り率が悪化する。これは、上述したASE光による光SRR劣化の影響により、光入力パワーに下限が存在することを示す。一方、光伝送路への光入力パワーを上昇させると、符号誤り率がより悪化する。これは、非線形光学効果による影響で波形状化したことによる制限である。この上限、下限間の光入力パワーの範囲が広いほど、ASE光および非線形光学効果の影響が小さく、光増幅中継数を大きくすることができる。基準となる符号誤り率を 10^{-9} 以下とすると、これを満たす光入力パワーの範囲は、図3 (d) に示す本実施形態の影響が最大であり、ASE光および非線形光学効果の影響を低減できることがわかる。

【0056】 なお、本実施形態では、光増幅器24の光入力率2.5としてマツハツエツン干渉計を用いた構成を示したが、SPM+GVD効果による符号間干渉の低減効果は光増幅器の構成によらないので、他の復調方式を用いた場合でも同様に光伝送路中で生じる符号間干渉を低減することができる。

【0057】 また、光増幅器24の復調信号からクロック周波数以上の成分を減衰させる手段として、例えば図1に示すように、受信部20の光増幅器24と同期再生器23との間にフィルタを配置してもよい。本実施形態の送信部10では、光送信波のすべてのビットがほぼ同一強度であるため、SPM+GVD効果による波形状化がすべてのビットに同様に生じる。その結果、復調後の波形状化は、クロック周波数と一致またはその通信の周波数成分に生じる。したがって、光増幅器24の出力に対してクロック周波数以上の成分を減衰させるフィルタを用いることにより、復調後の波形状化を改善することができる。

【0058】 (第2の実施形態) 図4は、本発明の光伝送装置および光伝送システムの第2の実施形態を示す。DPSK-CD方式による復調装置の基本的な部分は、図10に示す従来の構成と同様である。ここでは、n波長多重伝送する構成を示す。

【0059】 図において、送信部10では、複数のディジタル送信信号をそれぞれ符号化し、14-1-14-nに入力して符号化する。複数の光線14-1-14-nで発生させた波長 λ_1 ~ λ_n の複合光を光位相変調器15-1-15-nに入力し、符号化し、14-1-14-nの出力信号によりそれぞれ位相変調した光信号を生成する。各波長の位相変調信号は、それぞれクロック信号で駆動される光強度変調器16-1-16-nに入力され、ビットの境界で光強度が小さくなるようにビットご

の周期であるクロック周波数およびその通信の周波数に生じる。したがって、光増幅器24の復調信号からクロック周波数以上の成分を減衰させる手段として、例えば図4に示すように、受信部20の光増幅器24と同期再生器23との間にフィルタを配置することにより、XPM+GVD効果による波形状化を低減することが可能となる。

【0065】 ここで、第2の実施形態におけるXPM+GVD効果による波形状化の受信後の周波数分布について説明する。図6は、第2の実施形態におけるXPM+GVD効果の周波数分布を示す。ここでは、中心波長を連続光とし、他を本発明により位相変調・強度変調したビットレート10Gbit/sの3波長の波長多重光信号について、伝送時の中心波長の光信号を直接後送した場合の電気スペクトルを示す。

【0066】 この電気スペクトルは連続光を受光した際のものであるので、本来は周波数0成分のみが存在する。他の周波数成分は、隣接波長のXPM+GVD効果による影響を示している。IM-DD方式では、図16に示すように信号帯域全体にわたってブロードなスペクトルが生じていたが、本実施形態のXPM+GVD効果による波形状化は、隣接チャネルの強度変化の周期であるクロック周波数およびその通信の周波数に生じている。したがって、その波形状化成分は、クロック周波数以上の成分を減衰させるフィルタにより容易に取り除くことができる。

【0067】 図7は、第2の実施形態の構成による3波長多重伝送実験により得られたアイパターンを示す。信号のビットレートは10Gbit/sとした。また、実験に用いた光伝送路は波長分散 $2.5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ であり、120kmごとに光増幅中継し、360km伝送した。なお、経路分散の影響を除くため、伝送後に分散補償ファイバにより光伝送路の経路分散を補償した。図17に示す従来の構成では、3波長多重伝送後のアイパターンが大きく波形状化していたが、本実施形態の構成では3波長多重伝送後のアイパターンに顕著な劣化が見られず、SPM+GVD効果およびXPM+GVD効果による波形状化が抑圧できていることがわかる。

【0068】 図8は、第2の実施形態における伝送後の符号誤り率特性を示す。なお、実験条件は図2の実験と同様である。本実験では、光伝送路の損失を30dBに固定し、光伝送路への光入力パワーを変化させた場合の符号誤り率を示す。図8 (a) はNRZ符号を用いたIM-DD方式、図8 (b) はRZ符号を用いたIM-DD方式、図8 (c) はDPSK-CD方式であり、図8 (d) が本実施形態の符号誤り率である。なお、参考のために、1波長伝送時の符号誤り率についても表示している(Δ印)。

【0069】 1波長伝送時と3波長伝送時の符号誤り率を比較すると、光伝送路への光入力パワーが大きい場合

に、3波長伝送時の符号誤り率が高くなることがわかる。これは、波長間の相互作用によるXPM+GVD効果により生じる波形状化が原因であるが、その中でも図8 (d) に示す本実施形態のものの方が符号誤り率の劣化が最も顕著に抑えられていることが分かる。

【0070】 このXPM+GVD効果による波形状化は、上述したように復調出力に対してクロック周波数以上の成分を減衰させる手段を用いることにより低減することができる。実験では、光増幅器の帯域がビットレートである10GHz程度のもを用いることにより、XPM+GVD効果による波形状化を低減でき、符号誤り率の劣化を抑圧できた。ここで、基準となる符号誤り率を 10^{-9} 以下とすると、これを満たす光入力パワーの範囲は、図8 (d) に示す本実施形態の影響が最大であり、ASE光および非線形光学効果の影響を低減できることがわかる。これにより、光増幅中継数を増やすことができ、経済的な光伝送システムを構築することができる。

【0071】 【発明の効果】 以上説明したように、本発明の光伝送装置および光伝送システムは、ディジタル送信信号により位相変調されたビットの境界で、光強度が小さくなるように信号のビットに同期したタイミングで強度変調を行うので、送信波の強度変化はすべてのビットにおいて一様になり、ビットの境界で光強度が小さくなる。これにより、SPM+GVD効果により生じる符号間干渉を抑圧でき、信号劣化を低減することができる。

【0072】 また、本発明の光伝送装置から送信された光信号は、送信信号のクロック周波数と一致した成分により強度変調された波形となる。したがって、XPM+GVD効果による波形状化は隣接チャネルの強度変化の周期であるクロック周波数およびその通信の周波数に生じるので、復調信号からクロック周波数以上の成分を減衰させることにより、XPM+GVD効果による波形状化を低減することができる。

【0073】 なお、復調信号からクロック周波数以上の成分を減衰させる構成は、1波長伝送時にも効果がある。すなわち、光送信波のすべてのビットが一様な強度変化となるので、SPM+GVD効果による波形状化もすべてのビットに同様に生じる。その結果、復調後の波形状化は、クロック周波数と一致またはその通信の周波数成分に生じる。したがって、復調信号からクロック周波数以上の成分を減衰させることにより、復調後の波形状化を改善することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の光伝送装置および光伝送システムの第1の実施形態を示すブロック図。

【図2】 第1の実施形態における1波長伝送時の符号誤り率特性を示す図。

【図3】 第1の実施形態における伝送後の符号誤り率特性を示す図。

【図4】本発明の光伝送装置および光伝送システムの第2の実施形態の光伝送装置を示すブロック図。

【図5】第2の実施形態で波長多重伝送を行った場合の相互位相変調による光周波数変化を示す図。

【図6】第2の実施形態におけるXPM+GVD効果の周波数分布を示す図。

【図7】第2の実施形態の構成による3波長多重伝送実験により得られたアイパターンを示す図。

【図8】第2の実施形態における伝送後の符号誤り率特性を示す図。

【図9】IM-DD方式を用いた従来の波長多重伝送システムの構成例を示すブロック図。

【図10】DPSK-DD方式を用いた従来の波長多重伝送システムの構成例を示すブロック図。

【図11】IM-DD方式で生じる自己位相変調による光周波数変化を示す図。

【図12】NRZ符号を用いたIM-DD方式の1波長伝送時の信号波形を示す図。

【図13】位相変調信号の光強度とその光周波数変化の周波数分布を示す図。

【図14】DPSK-DD方式の1波長伝送時の信号波形を示す図。

【図15】NRZ符号を用いたIM-DD方式で波長多

重伝送を行った場合の相互位相変調によって生じる光周波数変化を示す図。

【図16】NRZ符号を用いたIM-DD方式で生じるXPM+GVD効果の周波数分布を示す図。

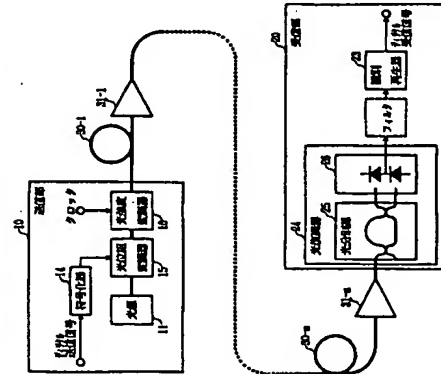
【図17】100 GHz間隔の3波長多重伝送実験により得られたアイパターンを示す図。

【符号の説明】

- 10 送信部
- 11 光源
- 12 光強度変調器
- 13 光合波器
- 14 符号化器
- 15 光位相変調器
- 16 光強度変調器
- 20 受信部
- 21 光分波器
- 22 受光素子
- 23 識別再生器
- 24 光復調器
- 25 光弁別器
- 26 バランス型受光器
- 30 光ファイバ伝送路
- 31 光増幅器

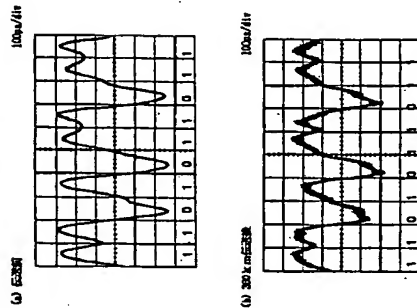
【図1】

本発明の光伝送装置および光伝送システムの第1の実施形態



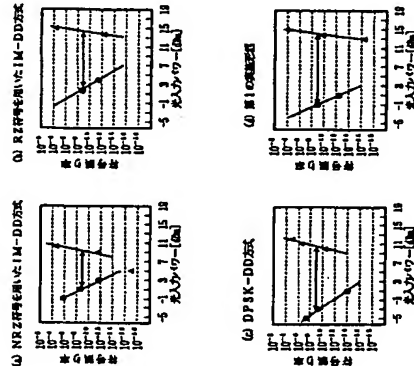
【図2】

第1の実施形態における1波長伝送時の信号波形



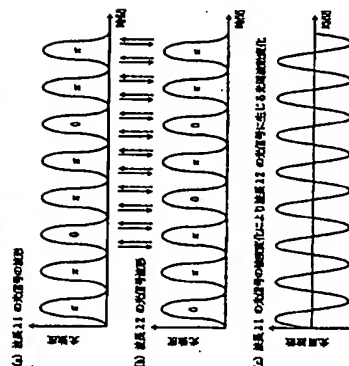
【図3】

第1の実施形態における伝送後の符号誤り率特性



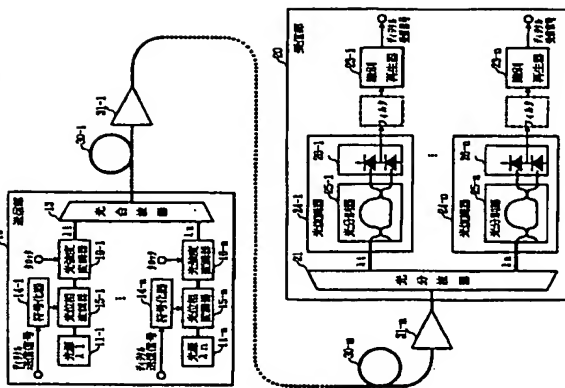
【図5】

第2の実施形態で相互位相変調によって生じる光周波数変化



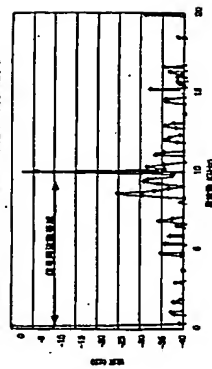
【図4】

本発明の光伝送装置および光伝送システムの第3の実施形態



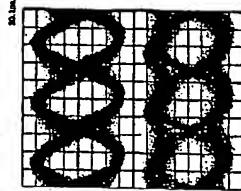
【図6】

第2の実施形態におけるXPM+GVD効果の周波数分布



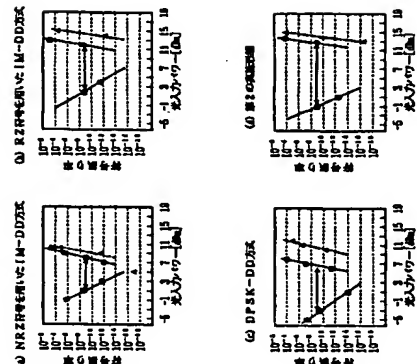
【图7】

第2の現象形態の構成による。結果多量伝送状態により得られたアイバターン



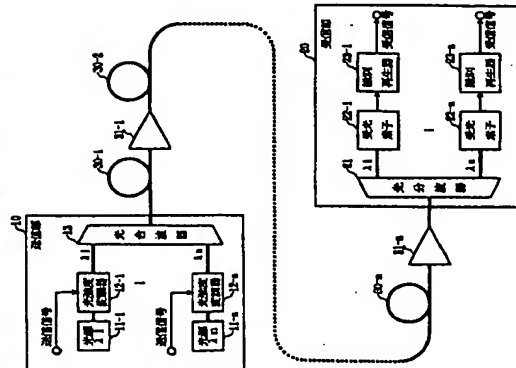
【图8】

第2の知識表現における伝達値の符号振り特性



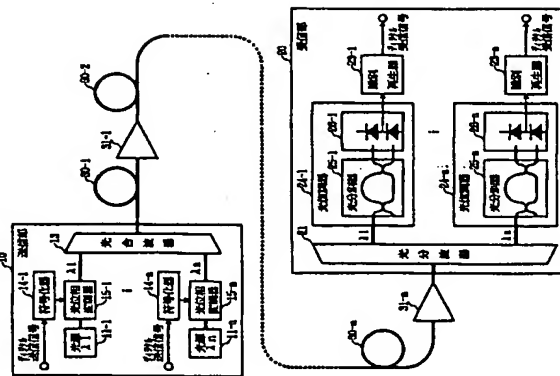
[6]

IM-DD方式を用いた従来の直送多量伝送システムの増広例



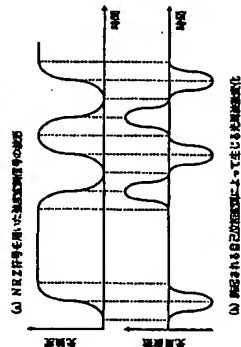
[☒10]

DPSK-DD方式を用いた従来の波長多重伝送システムの構成例



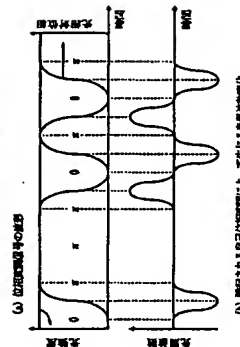
【图 11】

IM-DD方式で生じる自己位相変調による光周波数変化



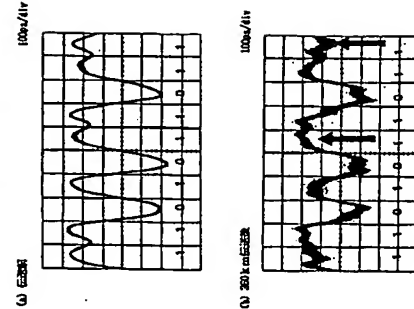
【圖 13】

位相空間標号の非連続とその光屈折率変化の関与



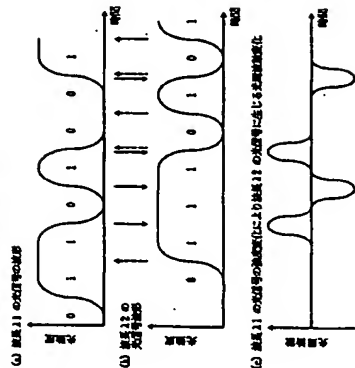
[X] 4)

DPSK-DD方式の！波長伝送時の信号波形



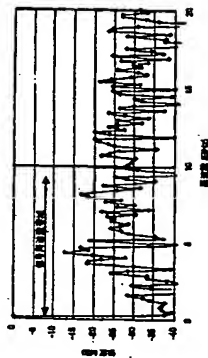
【図15】

NRZ符号を用いたIM-DD方式で伝送された信号の
伝送距離によって生じる伝送特性



【図16】

NRZ符号を用いたIM-DD方式で伝送したXPM-CV D調製の信号の伝送特性



【図17】

100C伝送距離の3倍伝送距離により得られたアイパターン

(a) NRZ符号を用いたIM-DD方式



(b) RZ符号を用いたIM-DD方式



(c) DPSK-DD方式



フロントページの続き

(51)Int. Cl.⁷

H04J 14/02

H04B 10/02

10/18

特許番号

F I

テーマコード (参考)